

SIGECORIS : un simulateur pour explorer des modalités de gestion préventive des inondations

BARRETEAU Olivier*
GRELOT Frédéric†
GUILLAUME Bertrand‡

7 avril 2006

1 Introduction

Krutilla[4], dans une réflexion sur la politique américaine, avance que la première ambition de toute politique de gestion des inondations devrait être d'assurer un usage optimal du territoire. Son analyse, datant des années 60, est suffisamment générique pour continuer à s'appliquer de nos jours et mettre en avant les limites des philosophies de gestion des inondations dont l'objectif serait la réduction des dommages. Le point de vue exprimé par Krutilla implique qu'il est stratégique de comprendre les relations existants entre la société, en tant qu'utilisatrice d'un territoire, et l'exposition de ce territoire aux inondations. À supposer que cette relation soit suffisamment connue, il serait d'ailleurs envisageable d'avoir une vue prospective sur la façon que la société réagit à la mise en place de politiques de gestion des inondations, un des points faibles notables des politiques de réduction des dommages¹. Pour de nombreuses raisons, la connaissance de cette relation entre société et inondation est difficile, parce que, par exemple, les conséquences d'une inondation sur la société, la perception et les comportements des individus sont mal connus (voir par exemple[7] pour un exposé plus détaillé).

Le moyen utilisé dans cet article pour explorer cette relation entre société et inondation repose sur un exercice de modélisation. Dans l'exercice de modélisation présenté nous avons fait trois hypothèses fondamentales : (1) la gestion préventive des inondations est avant tout une question de gestion du territoire ; (2) les inondations concernent assurément des agents individuels (qui sont assimilés à des investisseurs) mais (3) sont principalement gérées à un niveau collectif. Ces hypothèses nous amènent à proposer un canevas radicalement différent des rares cas de modélisation sur le sujet rencontrés dans la littérature[1], où les inondations ne soient jamais plus qu'une contrainte dans l'environnement des agents modélisés, jamais un objectif de gestion en soi.

2 Choix méthodologique et objectif de la modélisation

L'objectif principal du modèle consiste à disposer d'une plate-forme de test et d'exploration de scénarios de gestion préventive des inondations (fiscalité, réglementation, aménagement), à partir de plusieurs jeux d'hypothèses de comportements pour deux classes d'agents : collectivités d'un côté et investisseurs de l'autre. Nous avons retenu une modélisation de type système multi-agents (SMA) qui permette de simuler dans le temps l'interaction d'agents hétérogènes. L'architecture choisie a été utilisée dans plusieurs cas de sociétés artificielles proches du type de support que nous recherchons. Nous faisons l'hypothèse d'un monde composé d'agents sans rapports

*olivier.barretau@cemagref.fr, UMR G-EAU, Cemagref Montpellier

†frederic.grelot@cemagref.fr, UMR G-EAU, Cemagref Montpellier

‡bertrand.guillaume@utt.fr, CREIDD, UTT

¹L'exemple le plus typique est celui dit de la spirale de l'aménagement, qui peut être décrit de la façon caricaturale suivante : une digue est construite pour réduire les dommages annuels moyens d'une zone, cette zone est – d'une certaine façon – moins exposée aux inondations, la zone est investie de façon plus intensive, les dommages annuels moyens augmentent, éventuellement plus que pour la situation initiale selon la perception des individus investissant la zone.

d'appartenance qui institueraient une hiérarchie. Nous faisons également le choix a priori d'agents aux capacités cognitives limitées du type "*Perception-Décision-Action*", ayant toutefois des représentations de leur système qu'ils peuvent manipuler.

3 Description du SMA SIGECORIS

SIGECORIS (SImulateur pour la GEstion et la COnnnaissance du RISque) est une tranche de bassin versant virtuel exposée à un risque d'inondation. Archétype de plaine inondable d'une rivière du Nord-Ouest de l'Europe, cette tranche est inspirée de la littérature sur les politiques de gestion des inondations[8, 6, 3] et de travaux de terrain[2]. Le risque est lié au seul débordement de rivière, sans prise en compte du ruissellement local ni de la nappe. Il dépend de l'occurrence d'un événement hydrologique (la crue) et de la vulnérabilité de l'usage du sol. Cette vulnérabilité est elle-même fonction de la sensibilité à la submersion des différents investissements réalisés sur une zone et de l'existence ou non de protections autour de cette zone.

L'espace est représenté suivant l'analyse de Nijkamp[5]. Il est hétérogène, dans son exposition au risque comme dans son potentiel de rentabilité économique, ces caractéristiques étant par ailleurs indépendantes. C'est un bien rare, dont la consommation a des implications pour autrui (rivalité, externalité). Enfin, il apparaît comme un marché physique du risque. Les niveaux d'organisation de l'espace considérés sont : la parcelle élémentaire, homogène à la fois en terme d'exposition et de potentiel économique, lieu d'au plus un investissement ; les zones de risque, c'est-à-dire les zones de gestion homogène pour les collectivités ; les limites des collectivités, correspondant à leur zone d'administration ; le territoire entier représentant la surface totale de la simulation.

Un scénario de simulation comporte une carte qui indique les limites de chaque collectivité, et décrit l'exposition initiale au risque (évolutive en fonction des protections qui seront réalisées) ainsi que le potentiel de rentabilité économique de chaque parcelle élémentaire (fixe pour la durée d'une simulation). Les collectivités ont toutes pour objectif d'assurer le développement durable de leur territoire, mais leur mode de gestion est libre. Leurs leviers d'action sont les suivants : fiscalité, réglementations, aménagements (facteur d'hétérogénéité entre les collectivités). Leur connaissance de l'aléa est supposée parfaite, au contraire de leur connaissance de la vulnérabilité des investissements.

Les investisseurs gèrent un capital et visent le gain économique maximum. Ils réalisent leurs investissements sur des parcelles libres et sous contraintes fiscales et réglementaires des zones d'administration correspondantes. Ils ont une connaissance parfaite des cartes du territoire, des règles édictées par les collectivités sur leur zone d'administration, ainsi que du degré de vulnérabilité de leurs investissements (qu'ils peuvent moduler à la construction), mais pas du risque probabiliste d'inondation. Les investissements possibles sont de deux types : rural ou urbain, différenciant par leur coût, leur vulnérabilité initiale et les gains pouvant en être attendus. L'hétérogénéité des investisseurs réside dans leur type de comportement exploratoire pour choisir de nouveaux emplacements d'investissement.

La figure 1, page suivante offre une vue d'ensemble structurelle de SIGECORIS via un diagramme de classe donnant les principaux descripteurs de chaque classe. Au sein d'une population d'événements probables, un événement est généré aléatoirement par pas de temps d'un an. C'est aussi le pas de temps d'évaluation et de modification éventuelle des choix des agents.

Le pas de temps est l'année. Un événement de crue est généré aléatoirement au sein d'une population d'événements probables. C'est aussi le pas de temps d'évaluation et de modification éventuelle de leur politique par les collectivités et de choix d'investissement par les investisseurs (une seule fois par pas de temps).

4 Description détaillée

Les crues sont représentées de façon simplifiée par rapport aux modèles hydrologiques standards¹. L'intensité des événements est assimilée à un volume d'eau total à répartir sur le territoire. Le temps de la crue est absent du modèle. Cette option est cohérente avec les types d'actions offertes aux agents, qui touchent à la prévention et non à la gestion de crise. Nous supposons l'occurrence d'un seul événement par pas de temps, qui représente en fait la crue maximum susceptible de survenir sur l'année. Les événements sont décrits par des classes de crues, dont chacune correspond à une intensité donnée. Les événements d'une même classe ont donc tous le même volume d'eau à répartir sur le territoire. Chaque classe est définie par une période de retour, et une probabilité d'occurrence associée comme présenté dans le tableau 1, page suivante.

¹Pour une présentation plus justifiée de cette représentation voir[2]

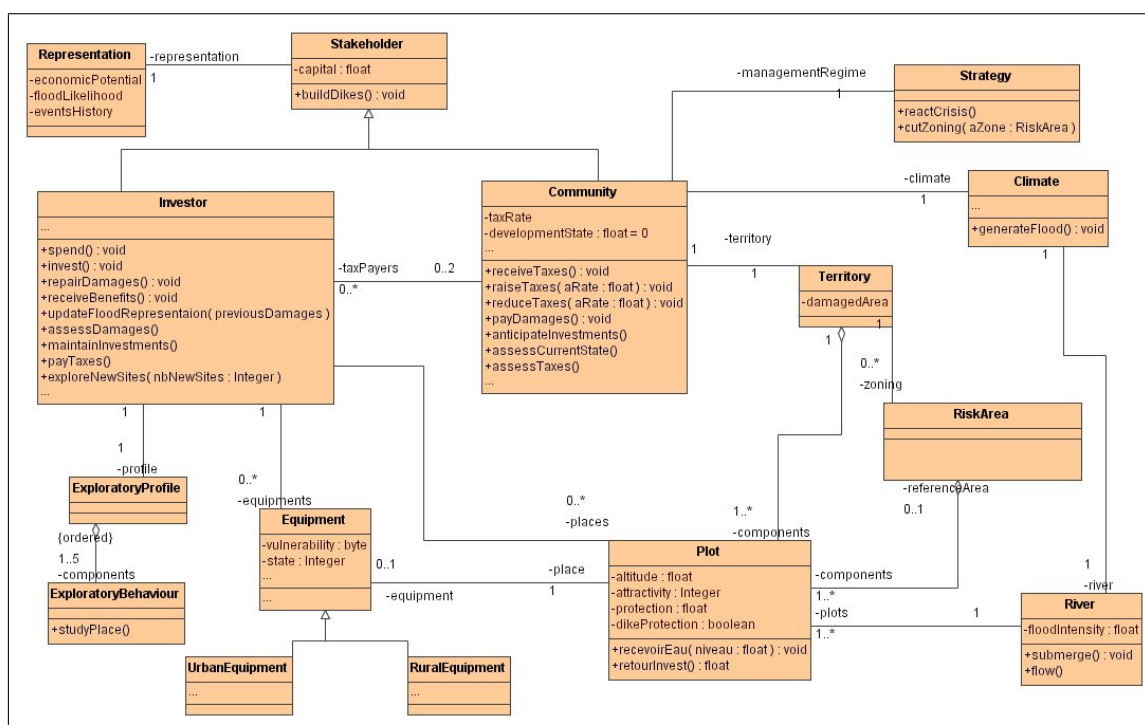


FIG. 1 – diagramme de classe de SIGECORIS

Classe	Rareté perçue	Volume associé	Période de retour (ans)			Probabilité d'occurrence
0	ABSENCE	0	0	$\leq T \leq$	2	0,5000
1	FRÉQUENTE	V_1	2	$< T \leq$	7	0,3571
2	PEU FRÉQUENTE	V_2	7	$< T \leq$	29	0,1084
3	RARE	V_3	29	$< T \leq$	72	0,0206
4	TRÈS RARE	V_4	72	$< T \leq$	144	0,0069
5	EXCEPTIONNELLE	V_5	144	$< T \leq$	$+\infty$	0,0069

TAB. 1 – définition des classes d'événement inondation

Quand une inondation est générée par le modèle, son extension géographique est calculée en fonction de son volume associé et de la présence éventuelle de parcelles endiguées sur le territoire. En l'absence de digues les expositions au risque inondation correspondent aux intensités des classes de crue : le bassin comporte sur chaque rive 5 terrasses d'altitude constante, correspondant aux 5 niveaux de crue.

Les investisseurs sont alors au courant des dommages subis par les zones inondées où ils ont des investissements. Les dommages sont calculés fonction de la vulnérabilité et du type de l'investissement et de la hauteur d'eau sur cette zone. Ces dommages se traduisent sur l'état de l'investissement selon une grille à 5 niveaux, l'état de l'investissement affectant alors le revenu de l'investisseur pour cet investissement. L'investisseur peut alors soit réparer cet investissement soit le garder en l'état avec un revenu moindre.

Les collectivités ont aussi des dommages dépendant de l'ensemble des dommages subis sur leur territoire. Ces dommages correspondent aux équipements collectifs (tel que les routes, réseaux...) nécessaires pour accueillir des investissements. Nous supposons que ces équipements sont systématiquement réparés, même s'ils induisent des déficits pour la collectivité.

Les investisseurs ont deux sources de revenus : la part de leur capital qui n'est pas investie sur le territoire est considérée comme placée avec un taux d'intérêt fixe pour la simulation, les revenus de leurs investissements fonction de l'état de ceux-ci. Ils commencent avec un capital donné et sans investissement. Les investisseurs ne peuvent avoir de dettes. S'ils perdent tous leurs biens ils sont considérés en situation de faillite et disparaissent. A chaque pas de temps les investisseurs peuvent mener un nombre limité d'actions parmi :

- le choix d'un nouvel investissement (i.e. une parcelle libre, un type d'activité, un niveau de vulnérabilité) ;
- la modification d'investissements existants, soit : la diminution de la vulnérabilité, la protection par une digue autour de la parcelle, la réparation de dommages antérieurs, l'abandon de l'équipement.

Les investisseurs font leurs choix d'actions en particulier en fonction de la représentation qu'ils se font du risque d'inondation. Cette représentation évolue en fonction des dommages qu'ils subissent sur leurs investissements existants. On fait l'hypothèse qu'ils n'apprennent que par l'expérience. Un investisseur gardant tout son capital en placement financier ne peut pas réviser sa représentation du risque inondation. On suppose ainsi qu'il n'y a apprentissage que par l'expérience pratique et qu'il n'y a pas communication entre les investisseurs permettant de transférer l'apprentissage de l'un à un autre. La représentation du risque inondation consiste en une carte où pour chaque parcelle est attachée une probabilité perçue du risque inondation. Ces probabilités sont alors révisées après chaque année en fonction des conséquences de l'événement ayant eu lieu sur les parcelles ayant des investissements. Les représentations initiales sont justes en intensité (l'investisseur sait l'altitude de la parcelle) mais initiées aléatoirement en probabilité.

Les collectivités ont des revenus de 3 types : taxes sur l'usage du sol, ne dépendant que du type d'investissement pour chaque investissement présent sur leur territoire, taxes sur les revenus générés par chacun de ces investissements, subvention d'origine externe. Nous ne considérons par dans SIGECORIS les autres éléments du budget d'une collectivité que ces entrées et les dépenses liées aux conséquences d'inondations. L'objectif de la collectivité en terme budgétaire est un budget équilibré, équilibre dont nous faisons l'hypothèse qu'il est recherché à l'échelle des éléments listés ci-dessus. Si des bénéfices structurels apparaissent, la collectivité cherche à faire décroître ses recettes en devenant plus attractives par exemple en diminuant les taux de taxation. En cas de dépassement d'un seuil, les sommes excédentaires sont considérées comme affectées à d'autres activités et sont donc sorties du système. Dans l'autre sens en cas de déficit, les collectivités doivent changer leurs stratégies pour augmenter leurs recettes.

Si une inondation a eu lieu, la collectivité peut évaluer les conséquences en termes de coûts pour elle ainsi que en terme d'évolution de la présence d'investissements actifs sur son territoire. Elle peut alors prendre des mesures pour prendre en compte sa nouvelle connaissance des conséquences économiques du risque inondation (dont elle a une connaissance parfaite). Nous avons considéré 4 types de collectivité, décrivant les types d'action pouvant être entrepris :

- *libéral* : la collectivité peut seulement mettre en place des digues sur son territoire
- *régulateur* : en plus des digues, la collectivité émet des règles pour limiter les choix possibles des investisseurs, tel que l'interdiction de certains investissements par zone, l'obligation de respecter un niveau de vulnérabilité maximum pour de nouveaux équipements par zone, la limitation de la mise en place de digues individuelles.
- *subventionneur* : en plus des digues, la collectivité peut pour des zones définies subventionner les investisseurs pour réduire la vulnérabilité des équipements, déplacer des équipements vulnérables, inciter les nouveaux investissements à se faire dans des zones spécifiques.
- *compensateur* : en plus des digues, les investisseurs ayant eu à subir des dommages reçoivent de la collectivité de l'argent pour compenser leurs pertes, ceci pouvant être lié à des conditions sur les types et niveaux de vulnérabilité des investissements, à l'échelle de la zone.

Dans tous les cas, cela implique un changement dans le déficit ou l'excédent budgétaire qui se traduit par une adaptation des niveaux de taxes.

5 Discussion

Ce travail est encore en cours et nous n'avons pas encore de résultats de simulation permettant de discuter des scénarios de types de collectivités et de populations d'investisseurs. Cependant, le processus de modélisation lui-même a d'ores et déjà permis d'explicitier des hypothèses courantes dans le domaine de l'économie des inondations, ce qui est en soi un premier résultat.

Le territoire ressort ainsi comme l'interface principale des interactions présentes dans les enjeux d'inondation. La gestion de l'inondation est donc bien d'abord une question de gestion des territoires et ne peut être prise en compte de manière séparée, de même que la gestion des territoires ne devrait pas être faite sans prendre en compte le facteur risque inondation.

Le risque inondation est une contrainte et non un paramètre déterminant directement un objectif pour les acteurs

d'un territoire. Pour les collectivités, même si le risque est connu, ce sont les conséquences sur l'attractivité du territoire qui sont mal connues, et là aussi ce ne sont pas ces conséquences qui déterminent directement un objectif de gestion du territoire, mais bien une volonté de rester attractif, indépendamment de l'existence de inondations.

SIGECORIS permet bien de satisfaire nos contraintes initiales de représentations d'agents hétérogènes en interaction, mais constitue un cadre de représentation très ouvert. De nombreux paramètres doivent être fixés pour chaque simulation, multipliant les risques d'artefact et la production de résultats surdéterminés par ces choix de paramètres. Cependant cela constitue bien pour nous un support d'expériences qualitatives permettant de mieux comprendre les conséquences des interactions entre les acteurs d'un territoire autour des enjeux d'inondation.

Références

- [1] J. P. Brown, B. Contini, and C. B. McGuire. An economic model of floodplain land use and land use policy. *Water Resources Research*, 8(1) :18–32, 1972. 1
- [2] F. Grelot. *Gestion collective des inondations. Peut-on tenir compte de l'avis de la population dans la phase d'évaluation économique a priori ?* Thèse de doctorat, spécialité Sciences Économiques, École Nationale Supérieure des Arts et Métiers, Paris, 2004. 2
- [3] G. Hubert and B. Ledoux. *Le coût du risque... L'évaluation des impacts socio-économiques des inondations*. Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, 1999. 2
- [4] J. V. Krutilla. An economic approach to coping with flood damage. *Water Resources Research*, 2(2) :183–190, 1966. 1
- [5] P. Nijkamp. Environment and Regional Economics. In J. C. J. M. van den Bergh, editor, *Handbook of Environmental and Resource Economy*, pages 525–538. Edward Elgar, Cheltenham, U.K., 1999. 2
- [6] E. C. Penning-Rowsell and M. H. Fordham. *Floods across Europe, flood hazard assessment, modeling and management*. Middlesex University Press, London, 1994. 2
- [7] R. J. Pielke. Nine fallacies of floods. *Climatic Change*, 42(2) :413–438, 1999. 1
- [8] J. P. Torterotot. *Le coût des dommages dus aux inondations : Estimation et analyse des incertitudes*. Thèse de doctorat, spécialité Sciences et Techniques de l'Environnement, École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1993. 2 volumes. 2